

Impactos ambientales, sociales y económicos de las pequeñas centrales hidroeléctricas  
(PCH) en Antioquia

Iverson Osorio Londoño  
*iosoriol@eafit.edu.co*

Asesor de tesis  
Jhon Miguel Díez Benjumea

Trabajo de tesis para optar al título de maestría en Gerencia de Proyectos

Universidad EAFIT  
Facultad de Administración  
Maestría en Gerencia de Proyectos  
Medellín  
2017

## Contenido

Introducción.....	8
1. Planteamiento del problema.....	9
2. Objetivos .....	13
2.1 Objetivo general.....	13
2.2 Objetivos específicos .....	13
3. Justificación.....	14
4. Metodología .....	16
5. Marco de referencia conceptual .....	17
5.1 Las PCH como unidades productivas .....	18
5.2 Componentes técnicos de una PCH.....	20
5.3 Otros componentes de las pequeñas centrales hidroeléctricas.....	23
6. Impactos generados por las PCH en Colombia.....	26
6.1 Marco normativo.....	26
6.2 Impactos ambientales.....	29
6.3 Impactos ambientales comunes generados por las PCH.....	32
6.3.1 Procesos geofísicos .....	32
6.3.2 Suelos .....	32
6.3.3 Ecosistemas terrestres .....	32
6.3.4 Ecosistemas acuáticos .....	33
6.4 Impactos sociales .....	33
6.4.1 Impactos sociales generados por una PCH .....	34
6.5 Impactos económicos.....	36
6.5.1 Empleos que genera una PCH en la etapa de construcción.....	36
6.5.2 Empleos que genera una PCH en etapa de operación .....	37
6.5.3 Ingresos para el municipio y corporaciones regionales por concepto de transferencias.....	38
7. Potencial hidroenergético de Antioquia .....	40
8. Conclusiones .....	43
Referencias .....	44
Anexos.....	46
Anexo 1. Potencial energético por municipio de Antioquia, Ingresos por transferencias, empleos durante etapa de construcción, empleos durante operación e impuestos de industria y comercio.....	46
Anexo 2. Normatividad que rige la formulación y el funcionamiento de una PCH.....	50
Anexo 3. Restricciones de carácter social y ambiental para la construcción de una PCH.....	54

## Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de las PCH según el salto en metros

Tabla 2. Clasificación de las PCH según la CREG

Tabla 3. Proyecciones de expansión de las PCH

Tabla 4. Costos de estudios e investigaciones

Tabla 5. Plantilla para elaboración y presentación de los planes de manejo ambiental de una PCH

Tabla A1. Potencial energético por municipio de Antioquia, Ingresos por transferencias, empleos durante etapa de construcción, empleos durante la operación e impuestos de Industria y Comercio

Tabla A2. Normatividad que rige la formulación y el funcionamiento de una PCH

Tabla A3. Restricciones de carácter social y ambiental para la construcción de una PCH

## Índice de figuras

Figura 1. Proyectos hidroenergéticos en Colombia

Figura 2. PCH a filo de agua

Figura 3. PCH de pie de presa

Figura 4. Casa de máquinas superficial

Figura 5. Resguardos indígenas y comunidades afrocolombianas

Figura 6. Sistema Nacional de Áreas Protegidas

Figura 7. Sitios de hallazgos arqueológicos

Figura 8. Potencial hidroenergético de Colombia por zonas

Figura 9. Cómo se calculó el potencial hidroenergético

Figura 10. Potencial hidroenergético de los municipios de Antioquia

## Índice de gráficas

Gráfica 1. Distribución de la inversión en una PCH

Gráfica 2. Número de empleados que requiere una PCH en la etapa de construcción

Gráfica 3. Número de empleados que requiere una PCH en la etapa de operación

## Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi madre, que antes de fallecer me motivó para continuar mis estudios en la maestría en Gerencia de Proyectos y ahora me observa desde el cielo mientras trato de terminar este ciclo y afrontar nuevos retos por venir en la vida.

Gracias a ella, el ser más incondicional.

## Agradecimientos

A Jhon Miguel Díez Benjumea, que decidió asesorarme en mi trabajo de grado después de los inconvenientes que se me habían presentado en su elaboración.

## Resumen

Después del racionamiento que sufrió Colombia entre 1992 y 1993, el Gobierno buscó impulsar la generación de energía a través de fuentes no convencionales que permitieran suministrar la energía suficiente que el país demanda, situación que impulsó la utilización de las pequeñas centrales hidroeléctricas (en adelante PCH).

Una PCH es una pequeña unidad generadora de energía que aprovecha el agua de un afluente a través de una caída o pendiente, buscando que el líquido abata una turbina para la generación de energía.

Este tipo de iniciativas ha crecido a nivel nacional generando consigo impactos sociales, ambientales y económicos que se deben medir y analizar, y que en Colombia no han sido recopiladas en un documento de tal manera que los diferentes grupos de interés que rodean el proyecto conozcan los impactos positivos y negativos que genera un proyecto de este tipo.

A partir de esta circunstancia, el presente trabajo tiene como finalidad analizar los tipos de impactos en los ámbitos mencionados anteriormente que generan las PCH, centrando su análisis en Antioquia, departamento que aporta la mitad de las generadoras de energía de esta clase que existen en el país. Es necesario tener en cuenta que un gerente de proyectos debe velar porque todos los aspectos concernientes a la nueva idea de negocio sean tenidos en cuenta a la hora de realizar el proyecto, de tal manera que se eviten inconvenientes en el futuro que puedan ser irreversibles o factores que se puedan potencializar para aumentar su provecho.

Para alcanzar el objetivo general se estudiará información disponible en el mercado para este tipo de proyectos y la información generada por varias PCH en cuanto su estructuración, que permita identificar los diferentes factores que producen impacto en el entorno en el que operan. Además, se mostrará los beneficios económico y social que trae consigo un proyecto de este tipo, que pueda incentivar la construcción de una mayor cantidad de PCH en el país.

Palabras claves: PCH; energía; impacto social, ambiental y económico; CREG; UPME; central hidroeléctrica.

## Abstract

Following the rationing of Colombia between 1992 and 1993, the Government sought to boost energy generation through unconventional sources to supply sufficient energy demanded by the country, a situation that encouraged the use of small hydroelectric power plants (SHP).

A SHP is a small energy-generating unit that draws water from a tributary through a drop or slope, looking for the liquid to blow down a turbine for power generation.

This type of initiative has grown at the national level generating social, environmental and economic impacts that must be measured and analyzed, and that in Colombia have not been compiled in a document in such a way that the different interest groups that surround the project know the positive and negative impacts generated by such a project.

From this circumstance, the present work aims to analyze the types of impacts in the areas mentioned above that generate the SHP, focusing its analysis in Antioquia, a department that contributes half of the generators of energy of this kind that exist in the country . It is necessary to take into account that any project manager must ensure that all aspects concerning the new business idea are taken into account when carrying out the project, in such a way as to avoid inconveniences in the future that may be irreversible, or factors that can be leveraged to increase their profit.

In order to achieve the general objective, information available in the market for this type of projects and the information generated by several SHP's will be studied in terms of their structuring, which will allow the identification of the different factors that impact the environment in which they operate. In addition, it will show the economic and social benefits of a project of this type, which can encourage the construction of a greater amount of SHP's in the country.

**Keywords:** SHP; energy; social, environmental and economic impact; CREG; UPME, hydroelectric power station.

## Introducción

El presente documento tiene por finalidad analizar los impactos más preponderantes generados por las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) en su lugar de ubicación, por medio de la recolección de información generada a partir de la estructuración de este tipo de proyectos, además de informar cuál es su contribución en aspectos sociales y económicos para una región, centrando su análisis en Antioquia, debido al aporte de dicho departamento en temas energéticos para el país, y por ser una zona predilecta para el desarrollo de este tipo de iniciativas.

Las PCH han experimentado un fuerte crecimiento a nivel nacional por el hecho de ser una fuente de energía renovable que no requiere una alta inversión, como si lo exigen otros proyectos destinados a la generación de energía. Una PCH genera impactos en la zona que se desarrolla, que se deben tratar de identificar desde el momento en que se está formulando y evaluando, de tal manera que se administren las posibles consecuencias que puedan generar en el futuro, evitando desenlaces negativos como mayores esfuerzos monetarios, daños ambientales y afectaciones sobre la población.

A su vez, una PCH trae consigo efectos positivos sobre el entorno en el que opera, como lo son la generación de empleo, la conexión de poblaciones alejadas a la red eléctrica del país, la mejora de la confiabilidad del sistema eléctrico en todo el territorio nacional, la generación de ingresos para los municipios vía impuestos y beneficios sociales para la región, a través de la construcción de una carretera, un centro de salud o un colegio por parte de los desarrolladores del proyecto, los cuales se deben tratar de analizar y explicar, de tal manera que se puedan potencializar.

Con el presente trabajo se explicará en que consiste una PCH, cuáles son las características principales de un proyecto de este tipo en Colombia y qué impactos generan. Se informará sobre el papel de Antioquia a nivel nacional en la generación de energía, con lo que se pretende brindar al lector una herramienta que le informe sobre los aspectos más relevantes a la hora de formular y evaluar un proyecto de este tipo.



## 1. Planteamiento del problema

Durante 1992 y 1993 Colombia sufrió uno de los mayores problemas energéticos a los que se haya enfrentado, debido al fenómeno climático de El Niño, que dejó ver las fallas del sistema eléctrico del país como consecuencia de la dependencia que tenía Colombia hacia las hidroeléctricas y sus represas, que reportaban los niveles más bajos en los embalses jamás vistos en la historia por las bajas precipitaciones que se presentaban a nivel nacional.

Esta situación condujo al país al inevitable racionamiento en ciudades principales. El presidente de dicha época, el doctor Cesar Gaviria, decidió afrontar este fenómeno por medio de la denominada “Hora Gaviria”, que consistió en adelantar en una hora la hora nacional con la finalidad de aprovechar en mayor medida la luz del día (Colprensa, 2012).

Esta situación dio paso a que el Gobierno retomara los proyectos de PCH para no depender de los embalses a nivel nacional, motivo por el cual encargó al ICEL<sup>1</sup> y al INEA,<sup>2</sup> reactivar sus programas de PCH<sup>3</sup> en las regiones de Nariño, Cauca, La Guajira y Meta (Ministerio de Minas y Energía, 1997).

En Colombia las PCH se iniciaron 1889 con la puesta en marcha de algunas plantas en Bogotá, Bucaramanga y Cúcuta, las cuales sirvieron para la generación y suministro de energía para pequeñas poblaciones y fincas productoras de la región. Después de ejecutados los primeros proyectos, los nuevos proyectos se detuvieron por la falta de incentivos por parte del Gobierno nacional y la puesta en marcha de centrales hidroeléctricas a cargo de entidades gubernamentales (Ministerio de Minas y Energía, 1997).

Después del racionamiento vivido en 1992 y 1993, el Gobierno, a través de la Ley 141 del 28 de junio de 1994, promovió la creación de proyectos de PCH, debido a que se creó el Fondo Nacional de Regalías, al que se le asignó el 15 % de los recursos para financiar proyectos regionales de inversión en energía, que provienen de las regalías que reciben los departamentos y los municipios por la exportación de recursos no renovables como el carbón y el petróleo (Ministerio de Minas y Energía, 1997).

Una PCH es un proyecto que por medio de la energía hidráulica genera electricidad hasta de 20 MW o 5.000 KW, a través de una turbina o generador. Existen diferentes clasificaciones para proyectos de este tipo, que se definen según su potencia y salto. A continuación se puede observar la clasificación creada por Berhard (2006).

---

<sup>1</sup> Instituto Colombiano de Energía Eléctrica.

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas.

<sup>3</sup> Pequeñas centrales hidroeléctricas con capacidad de generación hasta de 20 MW.

Según la potencia.

- Picocentrales: 0.5 – 5 KW
- Microcentrales: 5 – 50 KW
- Minicentrales: 50 – 500 KW
- Pequeñas centrales: 500 – 5000 KW

Según el salto en metros, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las PCH según el salto en metros

Tipos	Bajo	Medio	Alto
Microcentral	Menor a 15	15 - 50	Mayor a 50
Minicentral	Menor a 20	20 - 100	Mayor a 100
PCH	Menor a 25	25 - 130	Mayor a 130

Fuente: (Berhard, 2006).

Es necesario aclarar que no existe una unificación de criterios para la clasificación de las PCH; sin embargo, en la Tabla 2 se presenta la clasificación realizada por parte de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), aplicada para Colombia.

Tabla 2. Clasificación de las PCH según la CREG

Potencia	Tipo
0 a 100 KW	Microcentral
100 a 1.000 KW	Minicentral
1.000 a 10.000 KW	Pequeña central

Fuente: (CREG, 2007)

Colombia es un país con un fuerte potencial para la creación de PCH debido a que cuenta con 742.725 cuencas hidrográficas, un caudal multianual de 52.075 m<sup>3</sup>/s, ríos que desembocan en los océanos Atlántico y Pacífico y una región oriental con descargas de recursos hídricos equivalentes a 104.631 L/s/km<sup>2</sup>, factores que permiten establecer que se cuenta con un potencial de generación de 25.000 MW de los 660.45 MW que se están utilizando, es decir, que tan solo se está aprovechando un 2.64 % de la capacidad nacional (IDEAM, 2005).

Aparte de los beneficios económicos que trae consigo la realización de una PCH a una región, este tipo de proyectos también tiene consecuencias que se pueden calificar de negativas: afectación del paisaje, muerte y desplazamiento de la fauna terrestre por la construcción de vías, procesos de inestabilidad y erosión en etapas de construcción de la infraestructura, desplazamiento de comunidades, concentración de empalizada por la

bocatoma, cambio morfológico y degradación del lecho del río en el sitio del proyecto (Helga, 2010).

Partiendo de este punto, es importante recopilar los impactos que puede tener este tipo de proyectos en Colombia, dado que en la actualidad no existe una fuente que brinde al investigador información en este aspecto, de tal manera que ayude a terceros (inversionistas, comunidades y Gobierno) a enfrentar los diferentes aspectos sociales, ambientales y económicos a los que se debe enfrentar (Helga, 2010).

Una PCH es el resultado de una búsqueda para solucionar el planteamiento de la falta de energía y de la poca confiabilidad que poseía el sistema interconectado de energía en el país en los años noventa. En un principio esta iniciativa es coherente con los parámetros establecidos por parte del entorno en cada una de sus dimensiones, pero se sale de contexto cuando no se realiza un adecuado estudio de sus consecuencias en el futuro, tal como sucede con la proliferación de las minas de oro a cielo abierto, que repercuten de manera directa en el ecosistema (Berhard, 2006). Como consecuencia, este tipo de proyecto debe amoldarse a las necesidades de la sociedad y del ambiente y marcar su éxito y sostenibilidad en el tiempo, siendo su principal objetivo, desde una perspectiva económica, garantizar la disponibilidad de energía para el país y contar con un sistema confiable, situación que Colombia no ha logrado resolver desde que se presentó el racionamiento antes descrito (Miranda, 2005).

Aunque una entidad no posea el músculo económico que le permita contar con una firma especializada en proyectos o con un área especializada para medir el impacto de sus acciones sobre el entorno, es necesario que sus funcionarios conozcan del tema para no incurrir en fallas que, en última instancia, se traducen en pérdida de dinero y tiempo. Uno de estos factores que se presentan en el camino son los impactos ambientales, económicos y sociales, que deben ser estudiados y adaptados al proyecto para no tener inconvenientes, tal como se presentó recientemente en Santa Marta por el vertimiento de carbón al mar de aproximadamente 1.000 toneladas, lo que le significó a la Compañía Drummond una multa de aproximadamente \$ 7.000 MM, debido a que el sistema utilizado para el cargue y descargue de dicho material no tuvo en cuenta las condiciones del lugar en el que se iba a realizar, generando una afectación sobre el medio ambiente y deteriorando la imagen de la compañía en la sociedad (Semana, 2014).

Escobar define lo siguiente (2014):

Toda organización social o nueva idea posee un andamiaje jurídico e institucional que regula los derechos y los deberes en las relaciones establecidas entre sus diferentes miembros. Este contexto parte desde la Constitución, la ley, los decretos, las ordenanzas, los acuerdos, hasta los reglamentos y las resoluciones, y se expresan en forma prohibitiva o permisiva. De ahí la necesidad de que los analistas, al comenzar los procesos de formulación de los estudios de pre inversión, deban identificar con cierto rigor el ámbito legal e institucional sobre el cual operará el proyecto en sus diferentes fases (Escobar, 2014).

A partir de este punto, el gerente de proyectos debe analizar la viabilidad técnica que tiene una nueva idea dentro del ambiente que lo rodea, teniendo presente que la omisión de

algún punto puede significar el fracaso o una pérdida de grandes cantidades de recursos (Guido, 2008).

Por lo general, una PCH tiene un impacto directo sobre las comunidades y el medio ambiente, que puede ser negativo o positivo, según su alcance y características intrínsecas; por este motivo, en Colombia existe una normatividad que rodea cada iniciativa de este tipo, que establece los permisos necesarios para utilizar el agua y los usos del recurso hídrico, el trabajo con comunidades y las condiciones para la generación de energía. Para el impacto económico se deben medir los resultados directos sobre las entidades que realizan el proyecto y la comunidad que lo rodea, siendo Antioquia un punto de partida adecuado debido a su riqueza hídrica, que representa el 33 % de la producción nacional de energía (Marín Ocho, 2013).

Por este motivo, este trabajo de grado indagará sobre el impacto social, económico y ambiental de las PCH en las zonas rurales de Antioquia, teniendo en cuenta que dicha región aporta la mitad de dichos proyectos a nivel nacional y es la segunda zona en Colombia con mayor recurso de agua dulce (IDEAM, 2005).

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Identificar e informar sobre los impactos ambientales, económicos y sociales que generan las PCH en su zona de ubicación, centrando el análisis en Antioquia, con el propósito de documentarlos de modo que les sirvan de guía a los diferentes grupos de interés.

### 2.2 Objetivos específicos

- Identificar los tipos de impactos que generan las PCH en su entorno de operación.
- Documentar los hallazgos anteriores de tal manera que sirvan de instructivo sobre los impactos para trabajar desde la etapa de pre inversión en un proyecto de una PCH.
- Demostrar los beneficios económicos y sociales que generan y podrían generar las PCH en su lugar de operación, centrando el análisis en el departamento de Antioquia.

### 3. Justificación

Colombia es un país rico en recursos hídricos que se concentran en algunos departamentos como Chocó y Antioquia, siendo la última la encargada de aportar la mitad de las PCH que posee el país, debido a su atractivo natural, ambiental, social y económico. Estos factores conjugados han permitido en los últimos años la creación de nuevas PCH, pero sin identificar con claridad cuáles son los impactos que pueden generar en la región, fenómeno que se pudo evidenciar en las fuentes consultadas y que son conocidos por los desarrolladores de este tipo de proyectos.

Las PCH son un tipo de proyecto atractivo para los inversionistas debido a los beneficios de operación que ofrecen, tales como un margen de ganancia amplio, que permite un retorno sobre la inversión de manera ágil. Además, para el Gobierno se traduce en mayores ingresos por los impuestos que puede cobrar por el desarrollo de este tipo de iniciativas, tales como las transferencias, Industria y Comercio y predial.

Teniendo en cuenta que las PCH se presentan como una solución al problema de falta de confiabilidad del sistema eléctrico nacional, su influencia y participación en todo el territorio han crecido en importancia y número, factores que se consideran positivos en cuanto al aspecto antes mencionado, pero negativos respecto a algunos impactos ambientales, económicos y sociales sobre las regiones en los que se desarrollan y que no se han documentado en Colombia, de tal manera que sirvan de instrumento base a todo aquel que se pueda considerar como un accionista del proyecto. De allí que el objeto del presente trabajo se centra en documentar los impactos de las PCH, de tal manera que sirva como guía y pueda ser utilizado en el análisis y el trabajo de futuras PCH. Además, este tipo de proyectos tiene una inversión inferior en un 80 % respecto a las grandes hidroeléctricas, debido a su extensión en territorio.

La Figura 1 muestra la cantidad de proyectos hidroenergéticos que se desarrollan en el país y su concentración en Antioquia.

Figura 1. Proyectos hidroenergéticos en Colombia



Fuente: (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015).

#### 4. Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos, se indagará sobre las principales características técnicas de una PCH, seguido de los tipos de impactos que tienen las PCH en las regiones en las que se ubican, la normatividad que enmarca la realización de este tipo de proyectos y su contribución económica y social. Para acercarse al trabajo al caso antioqueño, se analizarán los documentos que dan cuenta de la formulación y evaluación de tres tipos de estos proyectos en Antioquia en compañía de un experto en el tema, el señor Pablo Agudelo, que suministró información gracias a su experiencia en la estructuración y desarrollo de este tipo de proyectos.

Sumado a lo anterior, se recolectará información de los ingresos que obtienen los municipios de Antioquia por concepto de la operación de las PCH en su territorio, y lo que podrían recibir en caso que se aprovechara todo el potencial hidroenergético del departamento.



## 5. Marco de referencia conceptual

La energía eléctrica se ha convertido en un elemento imprescindible para todas las economías, debido a que representa el insumo que permite la realización de cada una de las transacciones que se llevan a cabo día a día en un país (Pidre, 2002). La energía eléctrica es resultado del movimiento de electrones positivos y negativos que puede obtenerse en centrales hidroeléctricas, solares, térmicas, eólicas y nucleares (Gross, 1986).

La creación de dichos proyectos se ha convertido en elemento esencial para asegurar la sostenibilidad de un país en el tiempo y suplir sus necesidades. Según el boletín estadístico de Minas y Energía (UPME, 2014), en los últimos trece años la generación de energía en el país ha aumentado en 14 %, y la energía hidráulica por sí sola en 19 %, debido al potencial que existe a nivel nacional para la obtención de dicho recurso a través del agua. La oferta que existe en la actualidad se encuentra respaldada por una demanda que ha crecido en 50 %, representada en 3.106 MW. Es allí donde cobran importancia las PCH, que existen en el país desde el año de 1889, pero que solo hasta los años noventa del siglo pasado se volvieron a implementar como una buena solución frente a los déficits que tenía el país en este aspecto (Ministerio de Minas y Energía, 1997).

El atractivo de las PCH radica en el hecho de requerir una inversión inferior a lo que normalmente implica la construcción de una central hidroeléctrica, teniendo en cuenta que aprovecha el líquido circulante de un afluente (Mora, 2004), y no implica tener que almacenarla en algún terreno para después generar energía, tal como sucede con las represas, proyectos que requieren inundar grandes terrenos que, en muchas ocasiones, producen desplazamiento de poblaciones y afectación en la actividad económica de la región.

Los impactos de este tipo de proyectos se evalúan desde la alteración que generan en los ecosistemas, las comunidades y la economía local regional (Orea, 2013). Uno de los beneficios de las PCH desde el punto de vista ambiental es la disminución de la dependencia energética de fuentes convencionales, las disminuciones de emisiones de sustancias contaminantes y la realización de las obras en zonas aisladas, ofreciendo esta última la posibilidad de generar un beneficio económico y social para la región. Pero también pueden tener impactos negativos como la ocupación de terrenos, la transformación del terreno y las posibles alteraciones sobre la flora y la fauna (Mora, 2004).

Torres (2012) establece que existen unas etapas necesarias para la construcción de una PCH, que se establecen alrededor de la afectación que puede generar en el entorno:

- Identificar los centros de población que no serán conectados a una red interconectada en el futuro previsible y en los cuales está identificada su necesidad energética.
- Identificar el lugar donde se genere el menor impacto, para allí instalar la PCH, con el fin de alimentar los pueblos dentro de una distancia económica, aproximadamente 10-20 km.

- Determinar los datos hidrobiológicos y geológicos que permitan establecer la potencia y la energía producibles.

Sin embargo, es necesario mencionar que el impacto que generan las PCH comparado con las represas y las centrales térmicas es menor, razón por la cual se consideran como una alternativa más inocua con el medio ambiente, teniendo en cuenta que utilizan un recurso renovable que no conlleva al reasentamiento de poblaciones (Torres, 2012). Sumado a esto, este tipo de proyectos son considerados como fuentes limpias de energía, teniendo en cuenta que su potencial de energía es bajo y debe mantener un caudal ecológico que permita mantener el ecosistema fluvial (Moscoso, 2013). Todo ello sin desconocer que las PCH se encuentran reglamentadas por las resoluciones 086 de 1996, 24 de 1995, CREG 055 de 1994 y CREG 116 de 1996 (Smith, 2004).

### 5.1 Las PCH como unidades productivas

Como fue mencionado, una PCH es una unidad productiva con capacidad de generar hasta 20 MW, que depende directamente de la caída y el caudal del afluente donde se pretenda llevar a cabo el proyecto. El típico aprovechamiento hidroeléctrico es el llamado “A filo de agua”, que consiste en llevar el líquido del afluente a la casa de máquinas, donde la caída del agua genera un movimiento en las turbinas y, por consiguiente, permite la generación de energía. Paso seguido, el agua es devuelto al afluente. Por lo general, cuando la caída no es lo suficientemente pronunciada, es necesario construir un salto artificial que permita obtener el mayor beneficio del afluente (Criollo, 2011). La Figura 2 muestra una PCH a filo de agua.

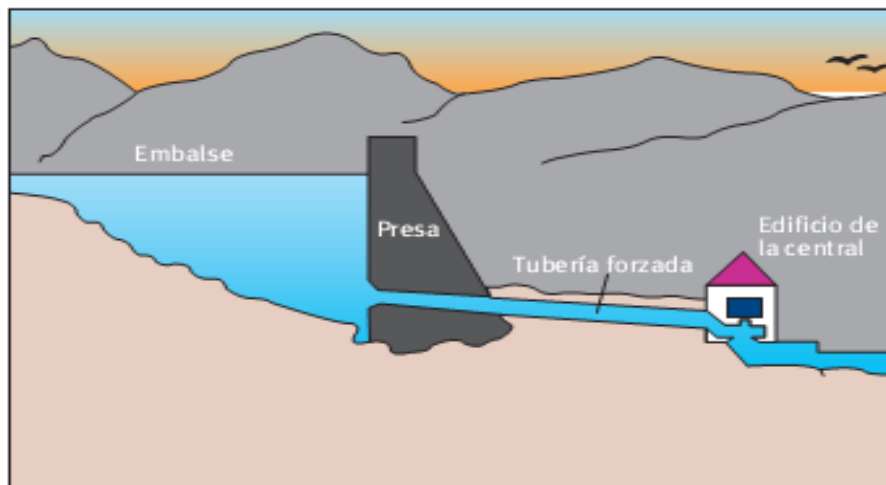
Figura 2. PCH a filo de agua



Fuente: (Elemental, 2016).

Otro tipo de central eléctrica que permite el aprovechamiento del afluente es la central “De pie de presa”, que consiste en acumular el agua en una presa que es liberada cuando ha alcanzado el nivel deseado, y permite obtener la energía suficiente para que pueda ser transferida al sistema eléctrico nacional. Este tipo de modelo presenta varios inconvenientes tales como la acumulación grandes cantidades de líquido que afectan todo el afluente cuesta abajo, es tres veces más costoso de construir que el modelo anterior y genera grandes cantidades de CO<sup>2</sup> debido a la acumulación y descomposición de material biológico (Criollo, 2011). La Figura 3 muestra una PCH de pie de presa.

Figura 3. PCH de pie de presa



Fuente: (IDEA, 2006).

Los otros dos tipos de centrales son las hidroeléctricas de bombeo y mareomotrices. La primera consiste en almacenar agua en dos depósitos, uno más bajo y otro más alto, con la finalidad de dirigir el líquido desde el depósito más bajo hasta el más alto en las horas de menor demanda de energía, y ser utilizada y turbinada en las horas de mayor demanda.

La segunda es un tipo de generación de energía limpia que consiste en el aprovechamiento del sube y baja de los niveles del mar debido al flujo de las mareas causadas por la interacción entre la gravedad de la tierra, la luna y sol. Este tipo de generación de energía hidroeléctrica es más predecible que la energía eólica y solar, y es un potencial de explotación y generación de energía inagotable y renovable (Criollo, 2011).

En conclusión, el tipo de central hidroeléctrica más utilizada es la de “A filo de agua”, debido a su capacidad de adaptarse a las condiciones del afluente, en el cual se puede instalar un salto artificial –en caso de requerirlo– o aprovechar el salto natural, con el fin de conducir el líquido por medio de tubería a presión a una casa de máquinas en la que se obtiene la energía. La Figura 4 muestra un esquema de una casa de máquinas superficial.

Figura 4. Casa de máquinas superficial



Fuente: (Elemental, 2016).

## 5.2 Componentes técnicos de una PCH

Una PCH se encuentra construida sobre un afluente hídrico o cerca de él, y requiere de diferentes partes para su respectivo funcionamiento: el azud (o desviación del cauce), la captación, los tanques desarenadores, la conducción a flujo libre, la conducción con flujo a presión, la casa de máquinas, el canal de descarga, las vías de acceso a las canteras de materiales, las zonas de depósitos de material excavado, los campamentos de obras y las líneas de transmisión. La dimensión o características de los elementos anteriores dependen

directamente de los centímetros cúbicos que circulen por el afluente, elemento que determina directamente la capacidad de la PCH en megavatios (MW). De esta manera se determina cuál es la capacidad de la PCH y qué condiciones técnicas deberá tener para su funcionamiento.

La *presa derivadora* está conformada por un azud de concreto. Esta estructura funcionará como vertedero de crecientes del proyecto, de forma tal que pueda evacuar de forma segura un caudal correspondiente a la creciente de 100 años de período de retorno. El azud es realmente una presa, pero suele conservar la denominación de origen árabe cuando se corresponde a presas de pequeño tamaño. Su función es regular ligeramente las aguas para poder hacer su captación. La toma de aguas se realiza mediante una captación de fondo con rejilla metálica de espaciamiento y con barrotes. La función de la reja será impedir la entrada de material grueso mayor (rocas y gravas, maderos, material vegetal, basuras y otros) hacia el sistema de conducción (Elemental, 2016).

Al inicio del canal de aducción, este dispone de una estructura para retener y almacenar las gravas que no puedan ser atrapadas en la reja coladera, que se podrán evacuar mediante la apertura de una compuerta deslizante y un canal de evacuación con una pendiente tal que garantice condiciones de auto limpieza. Aguas abajo de la trampa de gravas continúa el canal de aducción, conformado por una estructura de sección rectangular que tiene la capacidad para conducir el líquido correspondiente hasta el desarenador.

Hacia el final del canal de aducción se dejará una abertura que servirá como vertedero lateral de excesos para evacuar el caudal que capte la toma de fondo por encima del caudal de diseño durante la ocurrencia de crecientes.

Para evitar que los sedimentos del agua generen problemas en las tuberías o las máquinas, se dispone de un *tanque desarenador* de tres celdas paralelas conectado a la captación por un canal de aducción. Cada una de las celdas se dimensiona para el caudal de diseño de tal forma que pueda hacerse un correcto y continuo mantenimiento de los tanques.

La *ataguía* es la estructura encargada de desviar el caudal del río de su cauce natural, dirigiendo el flujo hacia un canal de desviación. Se construye conformando un terraplén con el material proveniente de las excavaciones, cuyas dimensiones están determinadas por el caudal determinado para un período de retorno de diez años.

El *canal de desviación* es la estructura encargada de transportar el caudal desviado por la ataguía. Durante su construcción se excava la sección resultante para transportar el caudal del período de retorno de diez años y se estima una longitud que depende del área que se va a utilizar para la construcción del azud y otras estructuras aledañas.

La *contraataguía* es la estructura encargada de impedir que el caudal transportado por el canal tienda a devolverse por su cauce natural e inunde las zonas de trabajo. Se realiza de la misma forma que la ataguía y con los mismos criterios para su dimensionamiento.

El *caudal de diseño* es aquel que determina la capacidad máxima para la cual deben ser diseñados los equipos electromecánicos. La determinación de este caudal no es trivial, ya que depende de la relación (no lineal) entre factores hidrológicos (los regímenes de caudales medios, máximos, mínimos y ambientales), hidráulicos (la capacidad de almacenamiento de

la central) y económicos (la capacidad instalada, los costos de inversión, el factor de planta y la energía generada, entre otros).

En la literatura técnica se plantea la siguiente ecuación para definir el caudal de diseño de una central hidroeléctrica:

$$Q_{\text{diseño}} = FD \cdot (Q_{\text{medio}} - Q_{\text{ambiental}})$$

donde  $FD$  es el factor de diseño, que depende de la relación entre las variables mencionadas (Elemental, 2016).

En el proceso de desarrollo de un proyecto hidroeléctrico es de vital importancia considerar la cantidad disponible del recurso hídrico con el fin de garantizar la producción de energía en cualquier período del año, considerando no solo los períodos húmedos, sino también las épocas de caudal mínimo. Es necesario minimizar la afectación de la generación de energía del proyecto por la disminución del recurso hídrico en las temporadas secas, por lo cual es necesario seleccionar sitios con altos rendimientos hídricos y cuencas con tamaños suficientes que garanticen cierta regulación y la permanencia del agua en la corriente, con el fin de disminuir los sobrecostos de instalación y las altas variaciones en los ingresos.

Después de conocer el potencial, se debe determinar qué tipo de turbina deberá utilizar el proyecto de generación de energía. Las turbinas se clasifican en dos grandes grupos: *de acción* o *de presión constante*, como la Pelton, la Tugo y la Michell; y las *de reacción*, como la axial, la Francis y la Kaplan. Los parámetros energéticos y constructivos fundamentales de cualquier turbina son (Mataix Plana, 1982) los siguientes:

HN: Caída neta

N: Velocidad de rotación

Q: Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

D: Diámetro nominal (rodete m)

Pm: Potencia (mecánica KW)

Ns: velocidad específica

Nt: eficiencia turbina

La selección de la turbina adecuada depende de la altura y el caudal disponibles, combinados con la potencia eléctrica demandada. En Colombia las turbinas más utilizadas en la implementación de una PCH son la Francis y la Pelton, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Proyecciones de expansión de las PCH (UPME, 2009)

Tipo de turbina	PCH	Potencia Instalada KW
Francis	61	69.008
Pelton	54	58.435
Combinados (P y F)	9	13.506
Michell Banki	7	245
Otros	3	1.383
Sin información	59	25.940
<b>Total</b>	<b>193</b>	<b>16.8517</b>

Fuente: (Sierra, F. E, Sierra, A. F. y Guerrero, 2011).

### 5.3 Otros componentes de las pequeñas centrales hidroeléctricas

#### *Captación*

Comprende la sección encargada de la toma de agua que será utilizada en la generación de energía. Por lo general cuenta con una rejilla metálica que tiene como función impedir la entrada de material grueso mayor como rocas, gravas, maderos, material vegetal y basura, entre otros.

#### *Canal de aducción*

Zona encargada de evacuar el caudal captado que se encuentre por encima del caudal de diseño de la PCH durante la ocurrencia de crecientes.

#### *Tanque desarenador*

Tiene como función retener los sedimentos del agua, con la finalidad de evitar que estos generen problemas en las turbinas o las máquinas.

#### *Tanque de carga*

Encargado de garantizar la sumergencia y de mantener la presión de la conducción que va a la casa de máquinas. También cumple la tarea de disipar posibles sobrepresiones generadas por el golpe de ariete que pueden llegar a presentarse durante la operación de la central.

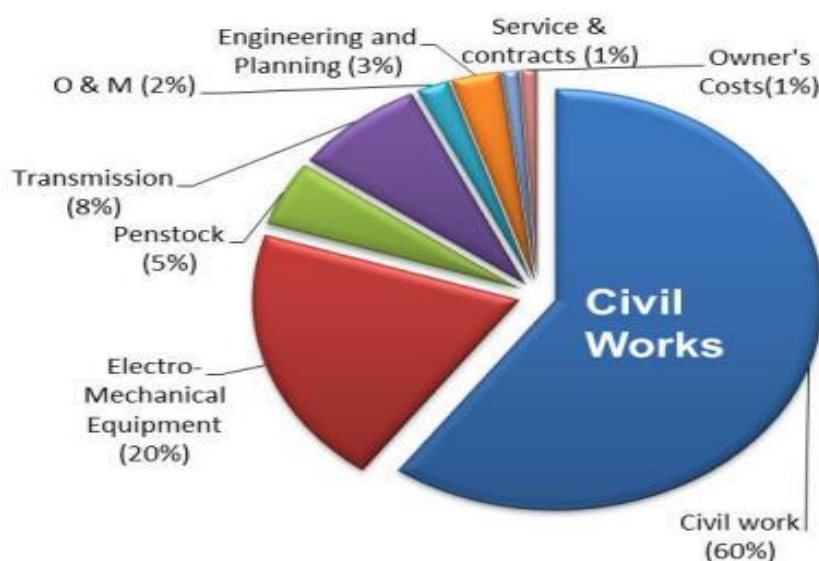
Los accesos de más de 5 km de longitud y las líneas de transmisión de más de 10 km de longitud no deberían ser evaluados para proyectos de menos de 20 MW. Además de la repercusión económica, los impactos ambientales negativos (compra de tierras, aprovechamiento forestal, movimiento y disposición de tierras) serán menores en esos casos.

Los criterios económicos que se plantean para la evaluación de proyectos hidroeléctricos en Colombia por lo general son el costo de generación (\$/kWh), la tasa interna de retorno, el valor presente neto de la inversión, la relación beneficio/costo y el tiempo de

recuperación de la inversión (Elemental, 2016). Estos elementos son comunes para otro tipo de proyectos y son aplicables para esta actividad.

En la construcción de una PCH, el 60 % de la inversión está representada en las obras civiles para la construcción de sus locaciones. El segundo elemento en orden de importancia son los equipos electromecánicos, seguido por el cableado para la transmisión. En caso de que un proyecto se encuentre por fuera de los rangos expuestos en la Gráfica 1, se podría incurrir en un error dentro de la estructuración del proyecto.

Gráfica 1. Distribución de la inversión en una PCH



Fuente: (Gielen, 2012).

En cuanto a los costos por kW/h para las PCH de 5 MW, en 2010 el costo de generación tenía un valor cercano a los 77 USD/MWh; para 2016 se esperaba este concepto sobre los 75 USD/MWh; y para 2020 y 2025 un valor constante cercano a los 74 USD/MWh, observando un comportamiento muy estable de los precios (Lesmes, 2011), lo cual está asociado al grado de madurez de la tecnología.

Los estudios relacionados con la caracterización de la zona en donde se implementará el aprovechamiento hidroenergético, entre ellos los estudios geológicos, geomorfológicos, topográficos, cartográficos, hidrológico y de impacto ambiental, están incluidos en el porcentaje destinado para estas inversiones, que usualmente son un porcentaje que oscila entre el 1 y el 7 % de los costos de la inversión (UPME, 2014).

La Tabla 4 muestra el porcentaje de los costos de estudio e investigaciones.

Tabla 4. Costos de estudios e investigaciones

Capacidad	% de inversión en estudios e investigaciones
5 kW	7 %



50 kW	5 %
500 kW	2 %
10 MW	1 %

Fuente: (UPME, 2014).

## 6. Impactos generados por las PCH en Colombia

La realización de un proyecto que incluya la utilización de recursos naturales en su punto de nacimiento o ubicación generará un impacto directo sobre el medio ambiente que rodea la actividad económica que se pretende desarrollar; este puede ser de carácter positivo o negativo, y debe tratarse de prever por parte del grupo encargado de estructurar la iniciativa. Es necesario aclarar que en la realización de una PCH se debe delimitar el área de influencia directa (AID) y el área de influencia indirecta (AII). La primera hace referencia al lugar donde se realizarán las obras principales del proyecto; y la segunda está delimitada por los municipios que hagan parte de la cuenca hidrográfica generada a partir del punto de captación del proyecto (Elemental, 2016).

Por lo general, este tipo de proyectos requiere la utilización de recursos, por lo que se deben tramitar diferentes permisos que permitan llevar a cabo la iniciativa. Los permisos más comunes que se deben solicitar por parte de una PCH son los siguientes: aprovechamiento forestal, concesiones de aguas, permisos de vertimientos y permisos de ocupación de cauce (Elemental, 2016). Sin embargo, estos trámites no hacen referencia a todos los aspectos que se ven impactados por una PCH en su ejecución, teniendo en cuenta que algunos se consideran ocultos, entre ellos los beneficios generados a una población por la construcción de una vía, la generación de empleos y los ingresos generados para los municipios y corporaciones por transferencias al sistema eléctrico, y para los primeros por el impuesto predial y la cámara de comercio.

### 6.1 Marco normativo

La normatividad vigente para la realización de una PCH se lista a continuación. Para hacer fácil su comprensión, se ha separado por temas relacionados con la descripción ambiental y la demanda, y el uso o aprovechamiento de recursos hidráulicos, los cuales se pueden ver en la Tabla A2 del Anexo 2.

Existen restricciones de carácter social y ambiental que, si bien no intervienen en el comportamiento físico y mecánico del sistema, sí restringen o condicionan legalmente su aprovechamiento. Las variables que imponen esta condición son las siguientes: la existencia de parques, reservas naturales o áreas protegidas y las zonas de páramos, manglares y humedales.

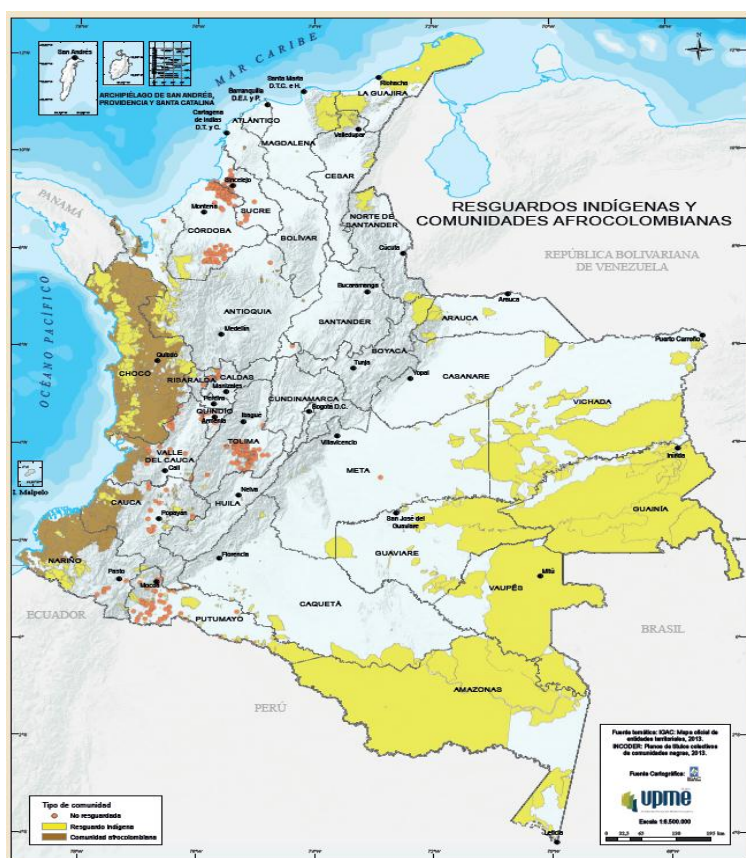
La Tabla A3, que se presenta en el Anexo 3, describe cada una de las restricciones a la que se ve expuesto un proyecto de generación de energía y la normatividad que aplica.

En general, ninguno de los criterios anteriores implica que los proyectos no puedan ser desarrollados; lo único que pueden generar son restricciones que alarguen los tiempos de licenciamiento y los costos de desarrollo del proyecto. Para causar el menor impacto posible

en el ámbito socioeconómico, se plantean obras de captación y conducción que no generen, en lo posible, el desplazamiento de la población asentada en los lugares donde se proyecta la construcción de las diferentes obras asociadas con el aprovechamiento hidroeléctrico. Por otra parte, el proyecto no se encuentra ubicado en ninguna zona de consideraciones ambientales o sociales especiales como parques naturales, reservas forestales, resguardos indígenas o tierras de comunidades afrodescendientes, por lo que, desde el punto de vista socio-ambiental, no se presenta ninguna restricción que pueda conllevar a la inviabilidad del proyecto (Elemental, 2016).

La Figura 5 muestra un mapa de los resguardos indígenas y las comunidades afrocolombianas del país.

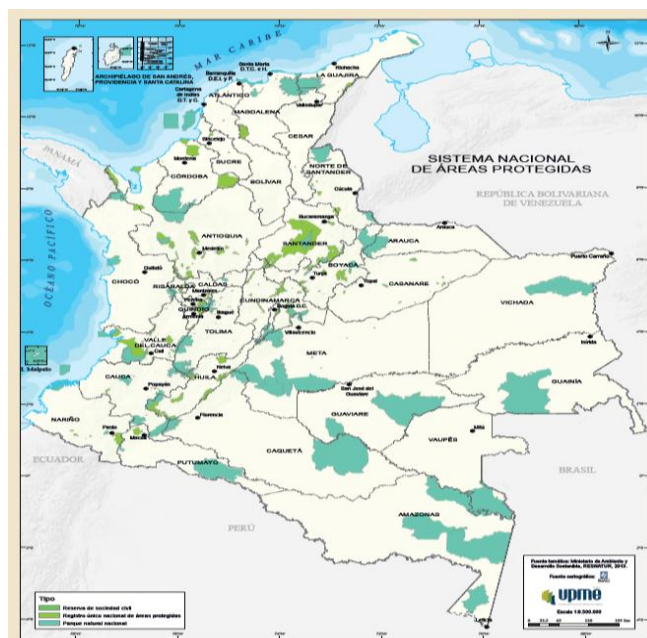
Figura 5. Resguardos indígenas y comunidades afrocolombianas



Fuente: (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015).

La Figura 6 muestra un mapa del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

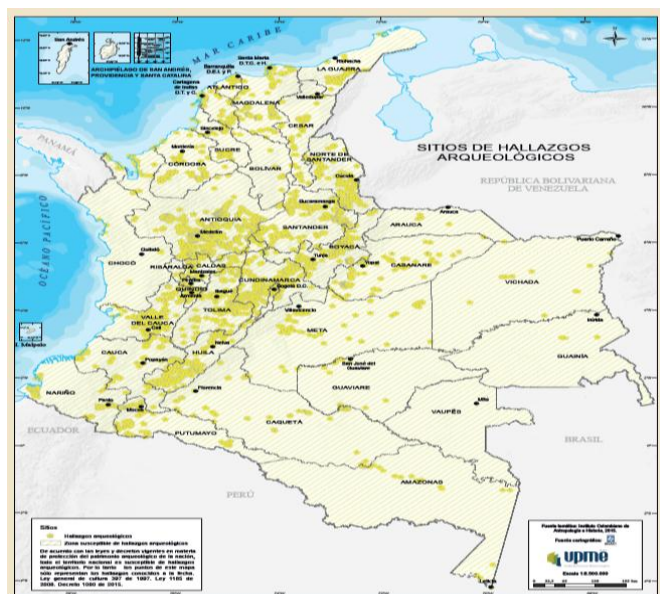
Figura 6. Sistema Nacional de Áreas Protegidas



Fuente: (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015).

La Figura 7 muestra un mapa de los sitios de hallazgos arqueológicos.

Figura 7. Sitios de hallazgos arqueológicos



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética, 2015).

## 6.2 Impactos ambientales

La evaluación de los impactos ambientales consiste en la identificación, previsión, interpretación y medición de las consecuencias ambientales de los proyectos. La evaluación de los impactos debe realizarse en el marco de procedimientos adecuados que, en forma concurrente, permitan identificar las acciones y el medio que va a ser impactado, establecer las posibles alteraciones y valorarlas. Esta última etapa está encaminada a llegar a expresar los impactos en forma cuantitativa, y cuando ello no es posible, en forma cualitativa.

Por lo general, para la evaluación de impactos ambientales en Colombia en los proyectos de generación de energía por medio de fuentes acuíferas para el escenario con proyecto y sin él, se utiliza la metodología propuesta por Conesa Fernández-Vitorta (1997), que define que el impacto de un proyecto se mide a partir de los siguientes puntos:

### *Naturaleza*

El carácter positivo o negativo del impacto.

### *Intensidad*

El grado de afectación del elemento ambiental por la actividad asociada; tiene en cuenta la intensidad y la velocidad de tal afectación. El calificativo utilizado para determinar el nivel de intensidad es de media, baja y alta.

### *Extensión*

El área de influencia de la afectación en relación con el entorno del proyecto (porcentaje del área respecto del entorno en que se manifiesta el efecto).

### *Momento*

Se debe tratar de determinar la persistencia del efecto en el tiempo. Podrá ser de corto, mediano y largo plazo.

### *Persistencia*

Plazo temporal de manifestación del impacto que puede determinarse. Supone una alteración no permanente en el tiempo. Se utilizan los siguientes calificativos para caracterizar: fugaz, temporal y permanente.

### *Reversibilidad*

Capacidad del medio de revertir los efectos negativos de un impacto. Utiliza las siguientes escalas: corto plazo, mediano plazo, largo plazo e irreversible.

### *Sinergias*

La posibilidad de que el efecto combinado de dos o más impactos sea mayor a la suma de todos ellos. Sus calificativos son los siguientes: sin sinergismo, sinérgico y muy sinérgico.

### *Acumulación*

El carácter aditivo en el tiempo de los efectos ocasionados por un impacto. Fenómeno que puede ser evaluado con los siguientes calificativos: simple (para referirse a al impacto que es acumulado) y acumulativo (para el impacto acumulativo).

### *Efecto*

La posibilidad de ocasionar un efecto secundario, de manera directa o indirecta.

### *Periodicidad*

La frecuencia con la que se presenta el impacto, que puede ser: irregular, periódico y continuo.

### *Recuperabilidad*

La posibilidad de retornar el factor afectado a las condiciones iniciales previas a la actuación por medio de la intervención humana, a través de la implementación de medidas ya sean de mitigación, prevención, compensación o potenciación.

Cada uno de los elementos es evaluado en una escala de uno a cinco, a excepción de Naturaleza. A partir de la evaluación de los aspectos antes mencionados, se define la importación del impacto, que se expresa matemáticamente así:

$$I: +- (3 * \text{Importancia} + 2 * \text{Extensión} + \text{Momento} + \text{Persistencia} + \text{Reversibilidad} + \text{Sinergismo} + \text{Acumulación} + \text{Efecto} + \text{Periodicidad} + \text{Recuperabilidad}).$$

La Tabla 5 muestra la plantilla para la elaboración y presentación de los planes de manejo ambiental y los planes de monitoreo y seguimiento para una PCH.

Tabla 5. Plantilla para elaboración y presentación de los planes de manejo ambiental de una PCH

<b>PROGRAMA</b>			
<b>Código</b>			
<b>Objetivo General</b>			
<b>Proyecto</b>			
<b>Objetivos Específicos</b>			
<b>Impactos</b>			
<b>Impactos</b>	<b>Signo</b>	<b>Etapas(s)</b>	<b>Tipo de Medida</b>
<b>Metodología</b>			
<b>Programa</b>			
<b>Código</b>			
<b>Recursos</b>			
<b>Lugar de Aplicación</b>			
<b>Población a Beneficiar</b>			
<b>Mecanismos y Estrategias de Participación</b>			
<b>Procedimiento de Desarrollo</b>			
<b>Metas e Indicadores</b>			
<b>Meta</b>		<b>Indicador</b>	
<b>Cronograma</b>			
<b>Actividad</b>	<b>Etapas</b>	<b>Duración</b>	<b>Periodicidad</b>
<b>Costos</b>			
<b>Item</b>	<b>Valor por Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>

Fuente: (Elemental, 2016).

Se plantean un conjunto de programas, proyectos y actividades necesarios para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos negativos y potenciar los positivos generados por el proyecto durante las diferentes etapas de estudios, construcción y operación. Para cada impacto identificado se ha formulado como mínimo un programa o proyecto como medida de manejo.

El plan de manejo ambiental se presenta en forma de fichas en las que se precisa como mínimo lo siguiente: objetivos, metas, etapas, impactos por controlar, tipo de medida, acciones para desarrollar, lugar de aplicación, población beneficiada, mecanismos y estrategias participativas, personal requerido para la ejecución, indicadores de seguimiento (calificables y cuantificables) y monitoreo, cronograma y presupuesto.

## 6.3 Impactos ambientales comunes generados por las PCH

### 6.3.1 Procesos geofísicos

#### *Erosión*

Conjunto de procesos en la superficie de la corteza terrestre que producen pérdida física del suelo en grado variable. Ocurre naturalmente cuando se manifiesta las fuerzas de la gravedad en zonas montañosas o cuando el suelo queda expuesto a la acción del agua o del viento.

#### *Sedimentación*

El proceso en el cual las partículas que se encuentran en un cuerpo de agua se van depositando en el fondo; está ligada a la velocidad de transporte de las partículas y, a su vez, a su tamaño.

#### *Estabilidad de laderas*

La firmeza de un alud frente a la falla por deslizamiento o colapso bajo condiciones normales.

### 6.3.2 Suelos

#### *Usos del suelo*

La actividad que está destinada a desarrollarse en un suelo determinado dependiendo de sus propiedades. Entre los usos del suelo se pueden enunciar los siguientes: agricultura, silvopastoreo, conservación y protección, entre otros.

### 6.3.3 Ecosistemas terrestres

#### *Flora*

Conjunto de especies e individuos vegetales, silvestres o cualitativos, cuyo desarrollo depende de los nutrientes disponibles en el suelo, el aire y las lluvias, entre otros. Incluye los diferentes hábitos de crecimiento presentes en las plantas, como hierbas, arbustos, árboles y epifitas, entre otros.

#### *Fauna*

El conjunto de animales de diferentes taxones, pertenecientes a una región geográfica y ecosistema determinado, que pasa la mayor parte de su ciclo de vida en el medio terrestre.

#### *Corredores biológicos*



Los espacios geográficos delimitados a través de los cuales los ecosistemas naturales, sus remanentes o ecosistemas modificados, mantienen su conectividad, asegurando la diversidad biológica y los procesos ecológicos y evolutivos, por medio del intercambio genético y la migración de especies, con el fin de contrarrestar la fragmentación de los hábitats.

#### 6.3.4 Ecosistemas acuáticos

##### *Perifiton*

El conjunto de bacterias, hongos, algas y protozoos presentes en los cuerpos de agua del proyecto. Esta comunidad es sensible tanto a la disponibilidad como a la calidad de agua, y cambios en ella pueden desencadenar dinámicas poblacionales en otros puntos de la cadena trófica.

##### *Fauna*

El conjunto de animales vertebrados o invertebrados de diferentes taxones, pertenecientes a una región geográfica o un ecosistema determinado, que pasan la mayor parte de su ciclo de vida dentro del ambiente acuático. En los sistemas acuáticos están representados por macro invertebrados acuáticos, peces, zooplancton y fitoplancton.

##### *Hábitat acuático*

El nicho ecológico de cada una de las especies presentes en los ecosistemas acuáticos del área de influencia, incluyendo todas las variables abióticas y bióticas que lo componen.

##### *Corredor biológico*

Los espacios geográficos delimitados a través de los cuales los ecosistemas naturales, sus remanentes, o ecosistemas modificados, mantienen su conectividad, asegurando la diversidad biológica y los procesos ecológicos y evolutivos, por medio del intercambio genético y la migración de especies, con el fin de contrarrestar la fragmentación de los hábitats.

En cuanto a las barreras ambientales, se manejan estudios de impacto ambiental con el propósito de establecer riesgos a especies e impactos al medio que se puedan generar durante la etapa constructiva y operativa del proyecto, y que deben ser previamente evaluados por la autoridad ambiental, que definirá las medidas necesarias de mitigación o compensación, en el caso de que estos se lleguen a presentar.

#### 6.4 Impactos sociales

Elemental (2016) define lo siguiente:

Los impactos sociales hacen referencia a los efectos que puede ocasionar el proyecto sobre la población que rodea, factor sobre el cual se debe realizar un trabajo que permita potenciar, prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos, todo basado en el concepto de desarrollo sostenible para las comunidades. Para la construcción y puesta en marcha de una PCH, es de vital importancia establecer relaciones armónicas entre el proyecto y los actores sociales del área de influencia directa e indirectamente mediante la implementación de estrategias comunicativas de manera oportuna y precisa acordes a las necesidades particulares de información de los grupos de interés; siendo esto el objetivo general del estudio social en un proyecto (Elemental, 2016).

Como objetivos específicos dentro del estudio social se pueden enumerar los siguientes:

- Informar de manera oportuna y precisa los avances del proyecto durante el proceso constructivo, antes, durante y después.
- Fomentar canales de comunicación de doble vía mediante el suministro de información clara y precisa, a través del establecimiento de espacios comunicativos que permitan la participación y la concertación entre los diferentes grupos de interés.
- Minimizar las expectativas y la tergiversación de la información a través de estrategias comunicativas acordes a las necesidades particulares informativas de los diferentes grupos de interés.

#### 6.4.1 Impactos sociales generados por una PCH

##### *Conflictos por la presencia del proyecto*

Por lo general se generan en las etapas de estudios y construcción, situación que es resultado de utilizar el espacio que una comunidad ha incorporado dentro de su cotidianidad y lugar de interés, debido a que puede afectar actividades de esparcimiento y económicas. Una PCH, al asentarse en un lugar específico, impide que en el futuro la comunidad pueda volver a desarrollar actividades en dicho lugar.

Por lo anterior, se utiliza un profesional en el área social con experiencia en gestión social para proyectos del sector hidroeléctrico, que, junto con el gerente encargado, deberá liderar las estrategias de comunicación para dar a conocer del proyecto a la comunidad y realizar la respetiva negociación.

##### *Generación de expectativas*

En los proyectos que conllevan la intervención de zonas rurales o apartadas de los cascos urbanos, que por lo general se caracterizan por su dependencia de actividades económicas agrícolas, de turismo y de aportes del Estado, son susceptibles de esperar, por parte de

empresarios que pretendan realizar un proyecto en la zona, alguna bonificación económica o en especie, factor que puede generar expectativas falsas por parte de la comunidad y generar conflictos entre las partes.

#### *Inversión en la comunidad*

En los planes de construcción de las PCH, se contemplan inversiones dedicadas a las comunidades, que tratan de beneficiar a la población aledaña al proyecto. Entre las retribuciones más comunes se encuentran la construcción de vías, de escuelas, de placas polideportivas, capacitaciones en temas ambientales y actividades económicas, entre otras.

#### *Desplazamiento de la población*

Algunos proyectos que se han realizado en el país para la generación de energía han generado el desplazamiento de población, tal como sucedió en los municipios de El Peñol y Guatapé, en Antioquia, debido a la necesidad de inundar los terrenos para almacenar el agua que posteriormente sería utilizada en la generación de energía. El caso más reciente se presentó en Ituango, municipio en el cual fue necesario realizar el mismo proceso.

Sin embargo, los proyectos de menor escala no han generado un desplazamiento del asentamiento de la población en el territorio nacional, punto que se considera a favor de las PCH, dado que su ubicación espacial por lo general se encuentra de manera continua a un afluente y no es necesario una extensión de tierra amplia para su desarrollo.

El efecto generado de manera directa está relacionado con la imposibilidad de utilizar el lugar exacto, el cual se busca compensar por medio de los desarrolladores del proyecto, invirtiendo en otros espacios que benefician a la comunidad, como escuelas, placas polideportivas, centros asistenciales y vías, entre otros.

Actualmente las barreras sociales representan un riesgo en el desarrollo y puesta en marcha de los proyectos de generación de energía eléctrica, dada la oposición de ciertos grupos regionales al desarrollo de estos mecanismos de generación en propiedades cercanas a sus áreas de influencia. Una estrategia para abordar esta barrera consiste en incorporar al desarrollo del proyecto mano de obra calificada (de existir) y no calificada de la región, con el propósito de reducir la cultura del desempleo e integrar las comunidades en los desarrollos de proyectos de electrificación, cuando se trata de proyectos en zonas aisladas del país, y en donde la difícil situación de orden público se convierte en un aspecto determinante para el apropiado desarrollo de este tipo de proyectos.

Adicionalmente, para vencer esta barrera de implementación y desarrollo, el proyecto se debe apoyar con continuas reuniones y acercamientos con la comunidad donde se establezcan y se dejen ver las externalidades positivas que traen consigo este tipo de aprovechamientos, sumado a que el impacto social y ambiental de las PCH es muy diferente en comparación con los tradicionales sistemas hidroeléctricos tan ampliamente utilizados en el país.

## 6.5 Impactos económicos

Los impactos económicos son consecuencia de los cambios económicos generados en una región a partir de la construcción y puesta en marcha de una PCH, fenómeno que se ve reflejado en el número de empleos que puede generar en su etapa de construcción y de operación, los beneficios consecuentes de la mejora en la calidad de vida de la población por las obras desarrolladas por el proyecto y los ingresos que recibe el municipio por los impuestos que se le cobran al proyecto, entre otros. La mejora en la calidad de vida se ve reflejada en aspectos como la posibilidad de acceder a los servicios públicos básicos, la disminución en los tiempos de traslados de un lugar a otro por la construcción de una vía, contar con servicios de salud, acceder a programas recreativos y de capacitación, y, sobre todo, en la transformación de la percepción de una población frente a su región de residencia.

El presente trabajo centra su atención en el análisis de los impactos económicos y el número de empleos que se puede generar en las etapas de construcción y operación de una PCH, y en los ingresos que puede recibir cada municipio de Antioquia por concepto de transferencias por la utilización de su capacidad hidrológica. Por esto se parte de tres proyectos de generación de energía de diferentes capacidades que se han desarrollado en el país, con la finalidad de analizar los aspectos mencionados anteriormente.

### Aures Bajo

Proyecto desarrollado en Sonsón, Antioquia, con una capacidad de 20 MW. En su etapa de construcción se requirieron 250 personas de manera directa. En la etapa de operación se prevé la utilización de 12, incluyendo operarios, personas encargadas de la seguridad y de la administración (Elemental, 2016).

### Magallo

PCH con una capacidad operativa de 5.9 MW, desarrollado en Concordia, Antioquia. Según la información arrojada por el proyecto, en la etapa de construcción se requirieron 80 personas de manera directa, y 6 en la etapa de operación (Elemental, 2016).

### Cocuyo

PCH que cuenta con una capacidad de 0.8 MW, desarrollada en Versalles, Valle del Cauca. En su etapa de operación requirió de 20 empleados y 4 en operación (Elemental, 2016).

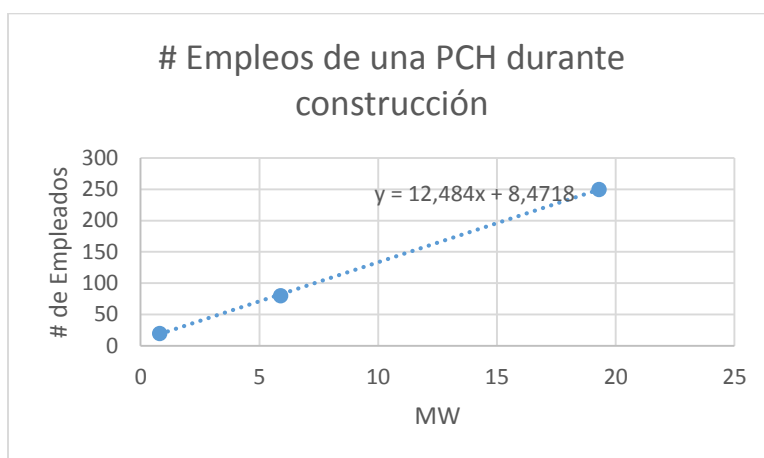
#### 6.5.1 Empleos que genera una PCH en la etapa de construcción

Al computar los datos anteriores, se obtiene que por cada MW de potencia que tenga la PCH se requieren 21 empleados que se dediquen a la realización de las obras necesarias para la obtención del entregable final en dicha etapa, es decir, la estructura física de la PCH. Por lo

general, la construcción de una PCH tiene una duración mínima de dieciocho meses y máxima de cuarenta y ocho, dependiendo de su capacidad, características operativas y condiciones geológicas de la zona en la que se pretenden llevar a cabo los trabajos (Elemental, 2016). Por esto, un municipio que cuente con un potencial hidroenergético de 300 MW, en caso de llegar a utilizar la totalidad de su capacidad instalada, puede llegar a genera 3.754 empleos tal como se puede observar en el la Tabla A1 del Anexo 1.

La Gráfica 2 muestra el número de empleados que requiere una PCH en la etapa de construcción.

Gráfica 2. Número de empleados que requiere una PCH en la etapa de construcción



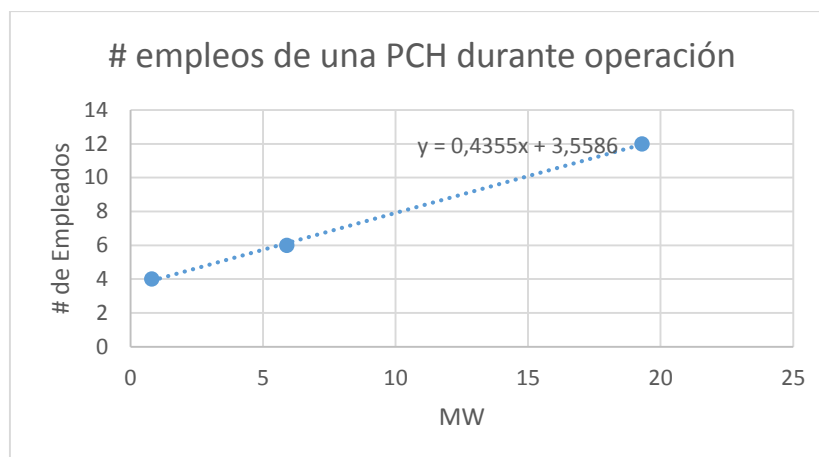
Fuente: elaboración del autor.

### 6.5.2 Empleos que genera una PCH en etapa de operación

El ejercicio de operar los datos de cada una de las PCH arroja que por cada MW en operación con el que cuente la PCH, requerirá cuatro personas que trabajen en ella, lo que representa un número inferior con respecto a la etapa de construcción, pero significativo. Si todos los municipios de Antioquia aprovechan su capacidad hidroenergética, un municipio como El Retiro, que posee una capacidad de 200 MW, podría contar con 91 personas trabajando en varias PCH durante veinte años por lo menos. Esta es la duración mínima de un proyecto de estas características debido al retorno de su inversión en el tiempo (Elemental, 2016).

La Gráfica 3 muestra el número de empleados que requiere una PCH en la etapa de operación.

Gráfica 3. Número de empleados que requiere una PCH en la etapa de operación



Fuente: elaboración del autor.

### 6.5.3 Ingresos para el municipio y corporaciones regionales por concepto de transferencias

Gallego (2015) afirma lo siguiente:

Los costos operativos también contemplan los costos de ley que deberán ser cancelados por el ente generador al Estado. La unidad de planeación minero energética en su texto “Costos Indicativos de Generación Eléctrica en Colombia” establece que, “según el artículo 45 de la Ley 99 de 1993 –Creación del medio ambiente–, se debe destinar un valor por tasa de utilización del agua equivalente a COP 1550/L/s-mes (USD 0.62/L/s/mes), para una capacidad instalada menor de 10 MW; el valor de Industria y Comercio equivale a COP 294.85/kW instalado al año (predial operativo, Ley 56 de 1981), que corresponde al 150 % del impuesto predial vigente para todos los predios del proyecto y se aplica un 0.6 a 1.5 veces el avalúo catastral. La sobretasa ambiental es un gravamen establecido por la Ley 99 de 1993, que permite a los municipios aplicar, como tope, hasta un 2.5 % del avalúo catastral de los predios, y cada año un 0,25 % al avalúo catastral (Gallego, 2015).

Las PCH que tengan una capacidad instalada inferior a 20 MW generan la mayor cantidad de transferencias del sector eléctrico a los municipios del área de influencia y a la respectiva corporación regional, sin que se vea afectada su viabilidad económica por los cargos de ley, teniendo en cuenta que el costo de ley por transferencia es el más importante y que significa el 6 % del valor total de la energía generada. Del 3 % obtenido por el municipio, dado que el otro 3 % le corresponde a la corporación autónoma regional, el 90 % debe ser destinado para inversión social y el 10 % será de libre destinación, es decir, en los rubros que la administración de turno considere pertinente invertir.

De lo anterior se concluye que un municipio se ve impactado económicamente por el desarrollo de una PCH debido al número de empleos que se puede generar en la región en las etapas de construcción y operación, el mejoramiento en la calidad de vida, que se traduce en

efectos monetarios por el desarrollo de obras de compensación por parte del proyecto, y los impuestos devengados por su puesta en marcha.

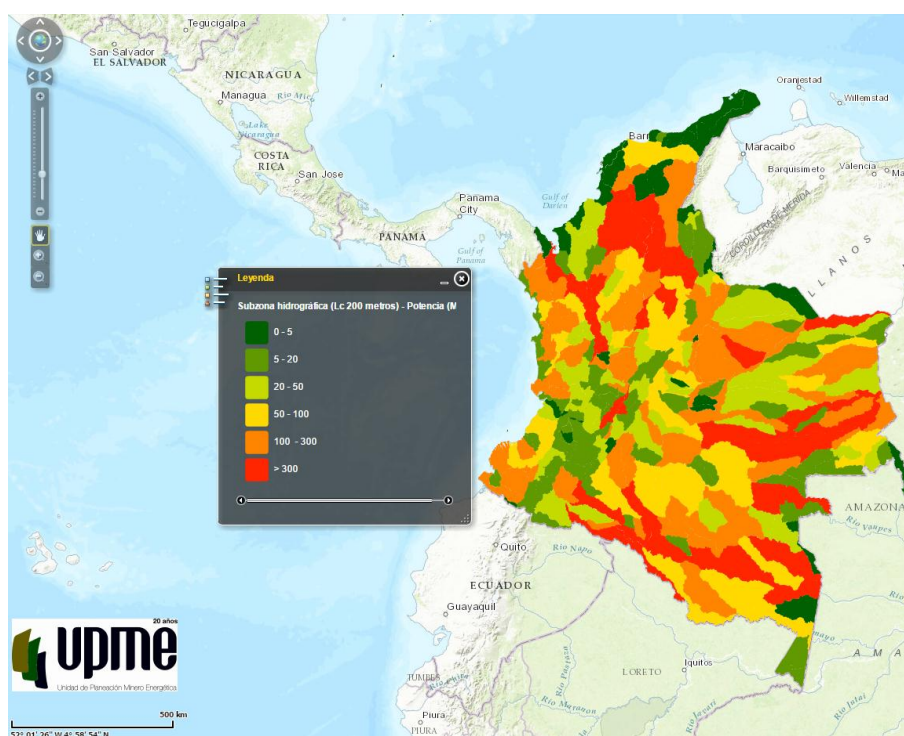
## 7. Potencial hidroenergético de Antioquia

Con la finalidad de ilustrar el potencial hidroenergético que posee Antioquia, la Tabla A1 del Anexo 1 muestra cada uno de sus municipios junto a su capacidad hidroenergética. Esta información se obtuvo sobreponiendo al mapa de la Figura 8, el mapa geopolítico de Antioquia, obteniendo como resultado final la Figura 9.

A la Tabla A1 se le agregan cinco columnas adicionales que ilustran la generación de energía por municipio en Kwh, además de las transferencias que recibirá cada uno por la utilización de su máxima capacidad instalada; otra columna contiene el número de empleos durante las etapas de construcción y de operación, y los impuestos de Industria y Comercio que se puede llegar a percibir cada municipio.

La Figura 8 muestra el potencial hidroenergético de Colombia por zonas.

Figura 8. Potencial hidroenergético de Colombia por zonas

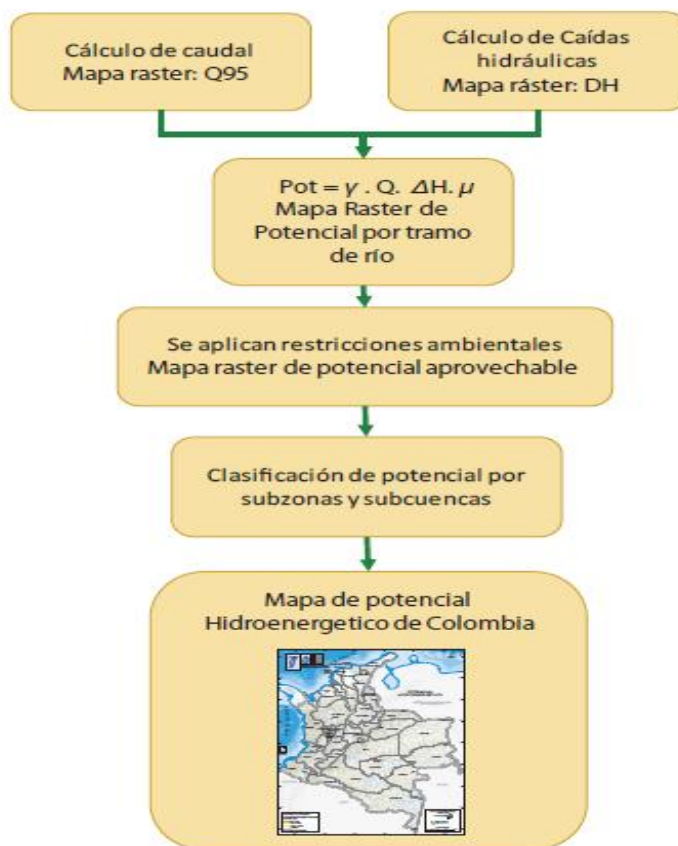


Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (2015).



La Figura 9 muestra cómo se calculó el potencial hidroenergético.

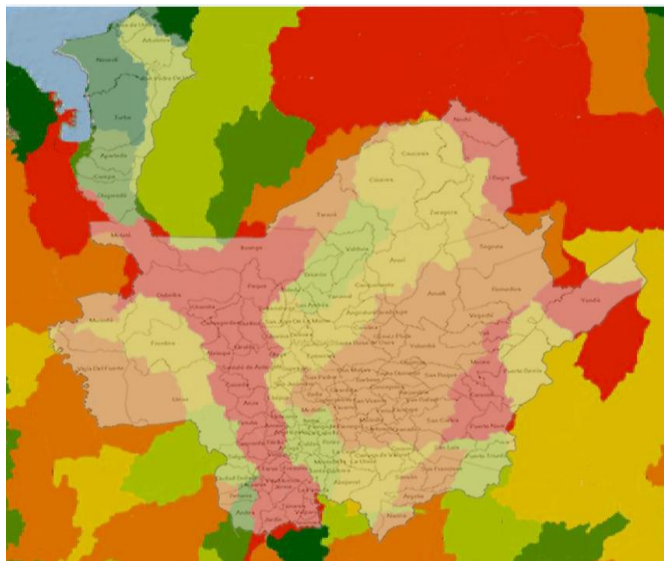
Figura 9. Cómo se calculó el potencial hidroenergético



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética (2015).

La Figura 10 muestra el potencial hidroenergético de los municipios de Antioquia.

Figura 10. Potencial hidroenergético de los municipios de Antioquia



Fuente: elaboración del autor.

Según la Tabla A1, en caso de que se utilice todo el potencial del departamento, se pueden llegar a crear 279.705 empleos en la etapa de construcción de las PCH y 10.170 en la etapa de operación, mínimo durante veinte años. Además, habrá ingresos por transferencias para los municipios y corporaciones por \$ 9.971.683.200 adicionales a lo que actualmente obtienen, y \$ 11.731.392 por el impuesto de Industria y Comercio.

## 8. Conclusiones

La PCH es un tipo de proyecto que se presenta como una adecuada alternativa para la generación de energía por el hecho de requerir una inversión inferior a lo demandado por una central hidroeléctrica. Sumado a esto, su impacto ambiental es inferior, por el hecho de trabajar con el cauce de un río determinado sin la necesidad de inundar terrenos o trasladar a toda una comunidad aledaña. Su éxito como proyecto energético se basa en el hecho de aprovechar las condiciones ambientales de una región para la producción de energía, recurso fundamental para el mundo de hoy.

Hasta los años noventa las pequeñas centrales hidroeléctricas eran un tipo de proyecto que se encontraban en desuso por la falta de inversión pública y los pocos incentivos al sector privado. Después de la crisis energética que atravesó el país por cuenta de la disminución en los embalses de las grandes hidroeléctricas como efecto del fenómeno de El Niño, las PCH cobraron importancia a nivel nacional. A partir de esto, se buscaron otros medios de generación de energía en el cual Antioquia cobra relevancia debido a su riqueza hídrica, al representar el segundo departamento en Colombia con mayor cantidad de agua dulce después de Chocó. En la actualidad Antioquia aporta el 50 % de las PCH que se encuentran operando o en etapa de construcción en el país, donde el empresario de la región ha tenido la visión para aprovechar las condiciones ambientales favorables y los incentivos entregados por parte del Estado.

Las PCH, aparte de ser una alternativa inocua con el medio ambiente con respecto a otros medios de generación de energía, también impactan otros factores como la comunidad y la economía de la región. Según las investigaciones realizadas, se encontró que las PCH por lo general traen consigo beneficios para las comunidades, debido a la inversión realizada en temas recreativos y capacitaciones por parte de los dueños de los proyectos. Con respecto a los impactos económicos, es necesario mencionar que en el presente trabajo fueron analizados desde la generación de ingresos y las transferencias del sector eléctrico a los municipios y corporaciones autónomas regionales. En dicho punto se encontró que por cada MW se requieren 21 empleados durante la etapa de construcción y cuatro en la etapa de operación, y que la primera puede llegar a tener una duración de entre dieciocho y cuarenta y ocho meses dependiente de las características y condiciones geológicas que rodeen la PCH; y la segunda, una duración mínima de veinte años. Resultados de los que se puede inferir que un proyecto de esta índole genera beneficios a la comunidad tanto en aspectos sociales como económicos, que permiten el desarrollo de los diferentes municipios del país.

## Referencias

- Berhard, P. (2006). *Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica*. España: Esha.
- Chain, N. S. (2000). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. Atlanta: Pearson Education.
- Colprensa (5 de marzo de 2012). A 20 años del apagón, Colombia se siente blindada en energía. *El País*, p. 20.
- CREG. (2007). *Clasificación Centrales Hidroeléctricas en Colombia*. Bogotá.
- Conessa Fernández Vitorta, V. (1997). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (2.<sup>a</sup> ed.). Madrid: Mundi-Prensa. Disponible en [http://centro.paot.mx/documentos/varios/guia\\_metodologica\\_impacto\\_ambiental.pdf](http://centro.paot.mx/documentos/varios/guia_metodologica_impacto_ambiental.pdf)
- Criollo, L. (2011). *Diseño de una Minicentral de Energía Hidroeléctrica en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Cuenca*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Elemental, G. (2016). *Descripción del Proyecto PCH Cocorná III*. Medellín.
- Escobar, M. N. (12 de mayo de 2014). *El marco legal en la gestión de proyectos*. Medellín.
- Gallego, J. D. (2015). *Potencial Hidroenergético en Colombia Mediante Pequeñas Centrales*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Gielen, D. (2012). *Power Sector Consulting*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- Gross, C. A. (1986). *Power System Analysis*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Guido, J. (2008). *Administración de Proyectos*. Medellín: Cengage Learning.
- Helga, E. M. (5 de julio de 2010). Hidroeléctricas e Impacto Ambiental [blog]. Disponible en <http://helgamanesp.blogspot.com.co/2010/07/hidroelectricas-e-impacto-ambiental.html>
- Horine, G. M. (2007). *Gestión de Proyectos*. Nueva York: Gestión 2000.
- IDEA (2006). *Minicentrales Hidroeléctricas*.
- IDEAM (2005). *El Ideam y la Gestión Integral del Recurso Hídrico*, 44. Bogotá.
- Lesmes, H. (2011). *Avances en Colombia sobre sostenibilidad energética*. Barranquilla.
- Marín Ocho, B. H. (1 de septiembre de 2013). Antioquia: Potencia Hidroeléctrica de Colombia. *Contexto*, 16.
- Martín, J. D. (2001). *La Gestión Basada en el Valor*. Nueva York: Gestión 2001.
- Mataix Plana, C. (1982). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Mexico: Oxford University Press.
- Ministerio de Minas y Energía (1997). *Guía de Diseño para las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Bogotá.
- Miranda, J. J. (2005). *Gestión de Proyectos*. España: MME.
- Mora, N. D. (2004). *Guía para estudios de prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos*. Bogotá.

- Moscoso, M. L. (julio de 2013). Impactos en la flora terrestre por la implementación de pequeñas centrales hidroeléctricas en Alejandría. Medellín.
- Orea, G. D. (2013). *Evaluación de Impacto Ambiental*. Madrid: Mundi Prensa.
- Pidre, C. J. (2002). *Análisis y Operación de Sistemas de Energía Eléctrica*. España: Mc Graw-Hill.
- Ramos, L. (6 de junio de 2013). El atraso injusto del tunel de oriente. *El Colombiano*.
- Semana (2014). Directivos de Drummond responderán por delitos ambientales. *Semana*, 165.
- Sierra, F. E., Sierra, A. F. y Guerrero, C. A. (2011). *Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: Alternativa real de generación eléctrica*. Bogotá.
- Smith, R. (2004). Análisis de inversión en pequeñas centrales hidroeléctricas. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, p. 10.
- Torres, Q. E. (2012). Investigación en pequeñas centrales en Colombia. Bogotá.
- Unidad de Planeación Minero Energética, UPME (2015). Sitio web <http://www1.upme.gov.co/>
- UPME (2014). Boletín Estadístico de Minas y Energía. Bogotá.

## Anexos

### Anexo 1. Potencial energético por municipio de Antioquia, Ingresos por transferencias, empleos durante etapa de construcción, empleos durante operación e impuestos de industria y comercio

Tabla A1. Potencial energético por municipio de Antioquia, Ingresos por transferencias, empleos durante etapa de construcción, empleos durante la operación e impuestos de Industria y Comercio

Municipio	Potencia (MW)	Energía (KWh) [\$]	Transferencias del sector eléctrico (COP\$/año)	Empleos durante construcción (#/año)	Empleos durante operación (#/año)	Impuesto de industria y Comercio (COP\$/año)
Abejorral	35	52.122.000.000	15.636.600	445	19	18.396
Abriaquí	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	15.7680
Alejandro	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Amagá	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Amalfi	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Andes	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Angelópolis	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Angostura	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Anorí	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Antioquia	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Anzá	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Apartadó	35	52.122.000.000	15.636.600	445	19	18.396
Arboletes	35	52.122.000.000	15.636.600	445	19	18.396
Argelia	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Armenia	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Barbosa	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Bello	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Belmira	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Betania	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Betulia	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Briceño	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Buriticá	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Cáceres	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Caicedo	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Caldas	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Campamento	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Cañasgordas	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Caracolí	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680

Caramanta	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Carepa	35	52.122.000.000	15.636.600	445	19	183.96
Carmen de Viboral	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Carolina del Príncipe	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Caucasia	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Chigorodó	12,5	18.615.000.000	5.584.500	165	9	6.570
Cisneros	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Ciudad Bolívar	35	52.122.000.000	15.636.600	445	19	18.396
Cocorná	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Concepción	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Concordia	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Copacabana	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Dabeiba	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Don Matías	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Ebéjico	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
El Bagre	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
El Peñol	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
El Retiro	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
El Santuario	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Entreríos	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Envigado	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Fredonia	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Frontino	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Giraldo	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Girardota	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Gómez Plata	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Granada	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Guadalupe	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Guarne	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Guatapé	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Heliconia	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Hispania	2,5	3.723.000.000	1.116.900	40	5	1.314
Itagüí	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Ituango	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Jardín	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Jericó	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
La Ceja	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
La Estrella	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
La Pintada	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
La Unión	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120

Liborina	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Maceo	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Marinilla	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Medellín	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Montebello	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Murindó	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Mutatá	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Nariño	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Nechí	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Necoclí	2,5	3.723.000.000	1.116.900	40	5	1.314
Olaya	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Peque	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Pueblorrico	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Puerto Berrío	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Puerto Nare	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Puerto Triunfo	35	52.122.000.000	15.636.600	445	19	18.396
Remedios	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Rionegro	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Sabanalarga	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Sabaneta	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Salgar	35	52.122.000.000	15.636.600	445	19	18.396
San Andrés de Cuerquia	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
San Carlos	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
San Francisco	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
San Jerónimo	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
San José de la Montaña	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
San Juan de Urabá	35	52.122.000.000	15.636.600	445	19	18.396
San Luis	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
San Pedro de los Milagros	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
San Pedro de Urabá	35	52.122.000.000	15.636.600	445	19	18.396
San Rafael	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
San Roque	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
San Vicente	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Santa Bárbara	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Santa Rosa de Osos	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Santo Domingo	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Segovia	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420



Sonsón	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Sopetrán	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Támesis	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Tarazá	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Tarso	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Titiribí	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Toledo	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Turbo	2,5	3.723.000.000	1.116.900	40	5	1.314
Uramita	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Urrao	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Valdivia	35	52.122.000.000	15.636.600	445	19	18.396
Valparaíso	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Vegachí	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Venecia	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Vigía del Fuerte	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Yalí	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Yarumal	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420
Yolombó	200	297.840.000.000	89.352.000	2.505	91	105.120
Yondó	300	446.760.000.000	134.028.000	3.754	134	157.680
Zaragoza	75	111.690.000.000	33.507.000	945	36	39.420

Fuente: elaboración del autor.

## Anexo 2. Normatividad que rige la formulación y el funcionamiento de una PCH

Tabla A2. Normatividad que rige la formulación y el funcionamiento de una PCH

Generales	Constitución Política de Colombia.
	Decreto 2811 de 1974: Código de los Recursos Naturales.
	Ley 99 de 1993, por la cual se crea el ministerio de Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se reorganiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
	Y el Decreto 141 de 2011, por el cual se modifican los artículos 24, 26, 27, 28, 29, 31, 33, 37, 44, 45, 65 y 66 de la Ley 99 de 1993, y se adoptan otras determinaciones.
	Decreto 23440 de 2004, por el cual se modifica el Decreto 3100 de 2003 y se adoptan otras disposiciones.
	Resolución 1503 de 2010: Metodología de Estudios Ambientales, MAVDT.
	Decreto 2820 de 2010, por el cual se reglamenta el Título VII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. El presente decreto deroga el Decreto 1220 de 2005. Decreto 1076 de 2015, por el cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.
Suelos	Decreto 2811 de 1974: Código de los Recursos Naturales.
	Decreto 1541 de 1978, por el cual se reglamenta la Parte II del Libro II del Decreto Ley 2811 de 1974: “De las aguas no marítimas” y parcialmente la Ley 23 de 1973. Modificado por el Decreto Nacional 2858 de 1981.
	Ley 388 de 1997.
	Decreto 3600 de 2007, por el cual se reglamentan las disposiciones de las leyes 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de las actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelos y se adoptan otras disposiciones.
Agua	Resolución 0631, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
	Decreto 2811 de 1974: Código de los Recursos Naturales.
	Decreto 1449 de 1977, por el cual se reglamentan parcialmente el inciso del numeral 5 del artículo 56 de la Ley 135 de 1961 y el Decreto Ley 2811 de 1974 (Código de los Recursos Naturales Renovables).
	Decreto 1541 de 1978 de las aguas no marítimas. Modificado por el Decreto Nacional 2858 de 1981.
	Decreto 1681 de 1978, por el cual se reglamenta la parte X del Libro II del Decreto Ley 2811 de 1974 que trata de los recursos hidrobiológicos, y parcialmente la Ley de 1973 y el Decreto Ley 37 de 1957.
	Ley 9 de 1979: Código Sanitario.
	Decreto 2858 de 1981: Modifica el Decreto 1541 de 1978, por el cual se reglamenta parcialmente el artículo 56 del Decreto Ley 2811 de 1974 y se modifica el Decreto 1541 de 1978.
	Decreto 2857 de 1981, por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto Ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas y se dictan otras disposiciones.
	Decreto 2105 de 1983, por el cual se reglamenta parcialmente el Título II de la Ley 9 de 1979 en cuanto a potabilización de agua.
	Decreto 1594 de 1984: Usos del agua y residuos líquidos. Derogado por el artículo 79, Decreto Nacional 3930 de 2010, salvo los artículos 20 y 21.
	Ley 99 de 1993.
	Documentos CONPES 1750 de 1995, 2866 de 1996, 3140 de 2001 y 327 de 2004.
	Resolución 1096 de 2000, por la cual se otorga el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS. Modificado por la Resolución 2023 de 2009.
	Decreto 1729 de 2002, por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto Ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5 de la Ley 99 de 1993 y el artículo 8 del Decreto 1594 de 1994 y demás disposiciones que les sean contradictorias.

	Decreto 1575 de 2007, por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. El Decreto 1575 de 2007 deroga en el artículo 35 el Decreto 475 de 1998 y el artículo 52 del Decreto 1594 de 1984, con excepción de lo referente al uso agrícola de las aguas servidas.
	Decreto 3930 de 2010, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI -parte 11- del Libro 1 del Decreto Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones (deroga las disposiciones que le sean contrarias, en especial los artículos 193, 213 a 217 del Decreto 1541 de 1978 y el Decreto 1594 de 1984, salvo los artículos 20 y 21).
	Decreto 4728 de 2010 del MAVDT, por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 sobre vertimientos.
Aire	Decreto 2811 de 1974: Código de los Recursos Naturales Renovables.
	Ley 9 de 1979: Código Sanitario.
	Ley 2 de 1982: Emisiones atmosféricas.
	Resolución 8321 de 1983, por la cual se dictan normas sobre protección y conservación de la audición de la salud y bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruido.
	Resolución 2308 de 1986, por la cual se adopta un procedimiento para el análisis de la calidad del aire.
	Ley 99 de 1993. Crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y la conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y se reorganiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.
	Decreto 948 de 1995. Prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
	Resolución 1351 de 1995, por la cual se adopta la declaración denominada “Informe de Estado de Emisiones” (EI-1).
	Decreto 2107 de 1995. Modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.
	Resolución 619 de 1997, por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.
	Resolución 415 de 1998, por la cual se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de los aceites de desecho y las condiciones técnicas para realizarla. Modificada parcialmente por la Resolución 1446 de 2005, artículos 1 y 2, y deroga el artículo 3.
	Resolución 601 de 2006: Norma de calidad del aire o nivel de inmisión para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.
	Resolución 627 de 2006: Norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.
Paisaje	Decreto 979 de 2008: Emisiones admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas. Modificado por la Resolución 1309 de 2010, Métodos de medición, establecidos por la Resolución del IDEAM 935 de 2011.
	Decreto 2811 de 1974: Código de los Recursos Naturales Renovables.
Fauna y flora	Decreto 1715 de 1978, por el cual se reglamentan parcialmente el Decreto Ley 2811 de 1974, la Ley 23 de 1973 y el Decreto Ley 154 de 1976 en cuanto a la protección del paisaje.
	Decreto 2811 de 1974: Código de los Recursos Naturales Renovables
	Decreto 1608 de 1978: Fauna silvestre.
	Decreto 1681 de 1978, por el cual se reglamenta la parte X del Libro II del Decreto Ley 2811 de 1974, que trata de los recursos hidrobiológicos, y parcialmente la Ley de 1973 y el Decreto Ley 37 de 1957.
	Ley 79 de 1986: Conservación del agua y las reservas protectoras.
	Decreto 2256 de 1991, por el cual se reglamenta la Ley 33 de 1990.
	Ley 99 de 1993, por la cual se crea el ministerio de Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se reorganiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.
	Decreto 1791 de 1996, por el cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal y se establecen todas las directrices y procedimientos necesarios para llevar a cabo la actividad.
	Decreto 309 de 2000, por el cual se reglamenta la investigación científica sobre diversidad biológica. Modificado parcialmente por el Decreto 302 de 2003.
	Ley 36 de 1936, por la cual se aprueba el Pacto Roerich para la protección de las instituciones artísticas y científicas y las monumentales históricas.

Medio socioeconómico	Ley 14 de 1936, por la cual se autoriza al poder ejecutivo adherir al tratado sobre la protección de muebles de valor histórico.
	Ley 163 de 1959, por la cual se dictan medidas sobre la defensa y la conservación del patrimonio histórico, artístico y los monumentos públicos de la nación.
	Ley 264 de 1963, por la cual se reglamenta la Ley 163 de 1959 sobre la defensa y conservación del patrimonio histórico y los monumentos públicos de la nación.
	Constitución Política de Colombia.
	Decreto 1397 de 1996, por el cual se crea la Comisión Nacional de Territorios Indígenas y la Mesa Permanente de Concertación con los pueblos y organizaciones indígenas, y se dictan otras disposiciones. Modificado por el Decreto 1722 de 2007, publicado en el Diario Oficial n.º 46.636 del 22 de mayo de 2007, por el cual se modifica parcialmente el Decreto 11397 de 1996.
	Decreto 833 de 2002, por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 397 de 1997 en materia de patrimonio arqueológico nacional y se dictan otras disposiciones.
	Ley 1185 de 2008, por la cual se modifica y adiciona la Ley 397 de 1997 -la Ley General de Cultura- y se dictan otras disposiciones. Deroga los artículos 3, 6, 8, 9, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 y 34 de la Ley 163 de 1959; modifica los artículos 151 a 159 del Decreto Ley 1355 de 1970; modifica los artículos 1 a 9 del Decreto Ley 2055 de 1970; modifica el Título II de la Ley 397 de 1997, salvo los artículos 9, 12 y 13, y modifica y adiciona los artículos 40, 49, 56, 60 y 62 de la Ley 397 de 1997.
	Decreto Reglamentario 2941, por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 397 de 1997, modificada por la Ley 1185 de 2008, en lo correspondiente al patrimonio cultural de la nación de naturaleza inmaterial.
	Decreto 763 de 2009, por el cual se reglamentan parcialmente las Leyes 814 de 2003 y 397 de 1997, modificado por medio de la Ley 1185 de 2008, en lo correspondiente al patrimonio cultural de la nación de la naturaleza material.
	Decreto 2811 de 1974: Código Nacional de Recursos Naturales Renovables.
Materiales de construcción	Decreto 1541 de 1978, Título IV: De la explotación y ocupación de playas, cauces y lechos, modificado por el Decreto Nacional 2858 de 1981.
	Decreto 2462 de 1989: Explotación de materiales de construcción.
	Decreto Reglamentario 2462 de 1989, por el cual se reglamenta parcialmente de Código de Minas y el Decreto 507 de 1955 incorporado a la legislación ordinaria para la Ley 141 de 1961.
	Decreto 1609 de 2002, por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera. Deroga las Resoluciones 1705 de 1991 y 2025 de 1994 expedidas por el ministerio de Transporte.
Sustancias peligrosas	Decreto 334 de 2002, por el cual se establecen normas en materia de explosivos, para quienes importen o produzcan, comercialicen, distribuyan, almacenen, transporten, usen o vendan productos o insumos o materias primas que, sin serlo individualmente, en conjunto, conforman sustancias explosivas, y sobre los elementos que, sin serlo de manera original, mediante un proceso, pueden transformarse en explosivos.
	Decreto 2811 de 1974: Código Nacional de Recursos Naturales Renovables.
Residuos sólidos	Ley 9 de 1979: Código Sanitario.
	Resolución 2309 de 1986: Residuos especiales.
	Decreto 541 de 1994, por el cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos de construcción, demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.
	Documento CONPES 2750 de 1994.
	Ley 253 de 1996, por la cual se aprueba en Colombia el Convenio de Basilea; en vigencia desde el 31 de marzo de 1997.
	Ley 430 de 1998, por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referente a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
	Resolución 1096 de 2000 o RAS 2000.
	Decreto 1713 de 2002: Gestión Integral de Residuos Sólidos. Modificado por el Decreto Nacional 838 de 2005.
	Decreto 1609 de 2002, por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.
	Decreto 1140 de 2003: Unidades de almacenamiento.
	Decreto 4741 de 2005, por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.

	Resolución 1362 de 2007, por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el Registro de generadores de residuos o desechos peligrosos a que hacen referencia los artículos 27 y 28 del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005.
	Ley 1259 de 2008, por la cual se establece el comparendo ambiental como unas estrategias para el adecuado manejo de los residuos sólidos.
	Ley 1252 de 2008, por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.

Fuente: (Elemental, 2016).

### Anexo 3. Restricciones de carácter social y ambiental para la construcción de una PCH

Tabla A3. Restricciones de carácter social y ambiental para la construcción de una PCH

Información socio ambiental		Restricción	Normatividad aplicable
Ecosistemas	Presencia de parque nacional natural (PNN)	Altas restricciones	Decreto 622 de 1977. Art 12. “La sustracción total o parcial de un área integrante del Sistema de Parques Nacionales Naturales, cuando ello se justifique por consideraciones de orden ecológico, requerirá la expedición de un acuerdo por parte de la Junta directiva del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Inderena, siguiendo el mismo procedimiento establecido en el artículo 6 de este decreto”. Decreto 2820 de 2010. Competencias del Min. Ambiente. Art 12 “Los proyectos que afecten las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales”.
	Presencia de ecosistema estratégico (declarado o sin declarar)	Se puede desarrollar, pero con ciertas restricciones ambientales; además, se debe analizar en detalle cada caso.	Los ecosistemas estratégicos de mayor importancia para el país son los siguientes:  Humedales: Resolución 157 de 2004. Art 16. “Por motivos urgentes de interés nacional, el ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial podrá retirar los humedales incluidos en la lista de humedales de importancia internacional o reducir o modificar sus límites”.  Manglares: Resolución 1602 de 1995. Art. 2 y 3. Modificado por la Resolución 20 de 1996. Parágrafo 2: “Las prohibiciones a las cuales hace referencia el numeral segundo del artículo segundo de la Resolución 1602 del 21 de diciembre de 1995 solo operarán cuando conlleven el deterioro del ecosistema del manglar a juicio de la autoridad ambiental competente”.
			Páramos: Resolución 769 de 2002. Art. 5. “En consideración de las especiales características de los páramos y sus ecosistemas adyacentes, todo proyecto, obra o actividad que se pretenda realizar en los páramos deberá desarrollarse atendiendo los criterios de zonificación y ordenación ambiental que se definan en el plan de manejo y las estrategias, modelos y alternativas de manejo sostenible que se prevean en él, o según los permitidos por la categoría de manejo bajo la cual se haya declarado”.  Zonas secas; apoyado en la Ley 99 de 1993 y en la Política Nacional de la Biodiversidad.

Información socio ambiental		Restricción	Normatividad aplicable
Ecosistemas	Presencia de área protegida que no sea PNN	Se puede desarrollar, pero con ciertas restricciones ambientales; además, se debe analizar en detalle cada caso.	Decreto 2372 de 2010. Art 30: “Sustracción de Áreas Protegidas. La conservación y mejoramiento del ambiente es de utilidad pública e interés social. Cuando por otras razones de utilidad pública e interés social se proyecten desarrollar usos y actividades no permitidas en un área protegida, atendiendo al régimen legal de la categoría de manejo, el interesado en el proyecto deberá solicitar previamente la sustracción del área de interés ante la autoridad que la declaró. En el evento que conforme a las normas que regulan cada área protegida no sea factible realizar la sustracción del área protegida, se procederá a manifestarlo mediante acto administrativo motivado rechazando la solicitud y procediendo a su archivo”.

Información socio ambiental		Restricción	Normatividad aplicable
			Art. 35: “Definición de los usos y actividades permitidas. Según la destinación prevista para cada categoría de manejo, los usos y las consecuentes actividades permitidas, deben regularse para cada área protegida en el plan de manejo”.
Fauna y flora	Existencia de áreas para cría, anidación, protección, migración de especies de fauna. Hay especies sensibles o importantes.	Se puede desarrollar, pero con ciertas restricciones ambientales; además, se debe analizar en detalle cada caso.	Apoyado en la Ley 99 de 1993 y en la Política Nacional de la Biodiversidad.
Presencia de población	Hay presencia de viviendas o infraestructura en las zonas donde se pretende llevar a cabo el proyecto. Lo cual conlleva al reasentamiento de población.	Se puede desarrollar, pero requiere la caracterización socioeconómica de la población que se va a reasentar y los posibles sitios de ubicación.	Constitución Política de Colombia, artículos 63, 72 y 79, “Participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectar el medio ambiente”.

Información socio ambiental		Restricción	Normatividad aplicable
Cultura	Existencia de áreas de protección cultural o histórica dentro de la legislación local, nacional o internacional.	Se puede desarrollar, pero con ciertas restricciones culturales.	<p>Ley 163 de 1959, por la cual se dictan medidas sobre defensa y conservación del patrimonio histórico, artístico y monumentos públicos de la nación.</p> <p>Decreto 264 de 1963, por el cual se reglamenta la Ley 163 de 1959 sobre defensa y conservación del patrimonio histórico, artístico y monumentos públicos de la Nación.</p> <p>Decreto 763 del 2009, por el cual se reglamentan parcialmente las Leyes 814 de 2003 y 397 de 1997, modificada por la Ley 1185 de 2008, en lo correspondiente al patrimonio cultural de la nación de naturaleza material</p>
Comunidades indígenas o afrodescendientes	Presencia de comunidades indígenas o afrodescendientes.	Se puede desarrollar, pero se requiere consulta previa.	El Decreto 1320 de 1998 reglamenta el procedimiento de la consulta previa a comunidades indígenas y negras para la explotación de recursos naturales dentro de su territorio.
Arqueología	Áreas donde exista patrimonio arqueológico.	Con restricciones.	Decreto 833 de 2002, por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 397 de 1997 en materia de patrimonio arqueológico nacional y se dictan otras disposiciones.

Fuente: (Elemental, 2016).